

Estudio del efecto de la cobertura arbórea de la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) sobre algunos factores físico-químicos y biológicos en la Dehesa de Boadilla del Monte

PÉREZ APARICIO, Alicia

Trabajo de Fin de Grado
Facultad de Ciencias Biológicas
Universidad Complutense de Madrid

Tutora: Dra. Mónica Gutiérrez López

Madrid, 4 julio de 2016

INDICE

| | |
|--|----|
| Resumen | 2 |
| Abstract | 2 |
| 1. Introducción..... | 3 |
| 2. Materiales y métodos..... | 6 |
| 2.1. Área de Estudio | 6 |
| 2.2. Diseño experimental y muestreo | 7 |
| 2.3. Metodología empleada | 7 |
| 2.4. Análisis estadísticos | 10 |
| 3. Resultados | 11 |
| 3.1. Análisis descriptivos | 11 |
| <i>Vegetación</i> | 11 |
| <i>Artrópodos edáficos</i> | 14 |
| <i>Suelos</i> | 16 |
| <i>Rizosfera</i> | 17 |
| 3.2. Contraste de hipótesis..... | 17 |
| Influencia de la cobertura arbórea sobre la abundancia de herbáceas..... | 18 |
| Influencia de la cobertura arbórea sobre los ácaros gamásidos..... | 18 |
| Influencia de la cobertura arbórea sobre el contenido de calcio del suelo | 18 |
| Influencia de la cobertura arbórea sobre la CIC del suelo | 19 |
| 3.3. Mineralización..... | 19 |
| 4. Discusión..... | 21 |
| 4.1. Hipótesis comunes..... | 21 |
| Efecto de la cobertura arbórea sobre la cobertura de herbáceas..... | 21 |
| Efecto de la cobertura arbórea sobre la abundancia de ácaros gamásidos | 21 |
| Efecto de la cobertura arbórea sobre la cantidad de calcio | 22 |
| Efecto de la cobertura arbórea sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) | 22 |
| 4.2. Mineralización..... | 23 |
| 5. Conclusiones | 24 |
| 6. Agradecimientos..... | 25 |
| 7. Referencias | 25 |

Estudio del efecto de la cobertura arbórea de la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) sobre algunos factores físico-químicos y biológicos en la Dehesa de Boadilla del Monte.

Resumen

Con el objetivo de discernir las relaciones existentes entre los factores físico-químicos y biológicos de la dehesa de Boadilla del Monte, realizamos un muestreo en 16 parcelas tomando como factor explicativo principal el efecto de la cobertura arbórea de las encinas (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) sobre los distintos elementos. Analizamos los datos obtenidos para describir la zona y responder varias hipótesis. Los resultados estadísticos obtenidos indican que la cobertura de la encina ejerce una influencia significativa directa negativa sobre las comunidades vegetales y positiva sobre las características físico-químicas del suelo y los procesos edáficos mediante las variaciones del contenido de materia orgánica (CMO) y peso de hojarasca del medio. La abundancia de ácaros gamásidos no se explica por la presencia de la encina, sino a través de la distribución de ácaros oribátidos. También comparamos el proceso de mineralización llevado a cabo por la microfauna edáfica y la actividad añadida de una lombriz característica de la zona (*Hormogaster elisae*) que crece de forma indiferente en uno y otro tipo de suelo, viendo que en conjunto producen un efecto sinérgico sobre la mineralización. Sin embargo, el factor principal que afecta a la mineralización es el CMO, determinado por la cobertura arbórea. Queda así demostrado que la presencia de árboles aislados favorece la creación de condiciones físico-químicas específicas y, con ello, de comunidades y procesos biológicos únicos y dignos de conservación.

Palabras clave: dehesa, encina (*Quercus ilex*), Región Mediterránea, Sistema agrosilvopastoral, Boadilla del Monte, efecto de la cobertura, mineralización, *Hormogaster elisae*.

Abstract

In the aim of establishing the relationships between the physic-chemical and biological factors in the grassland of Boadilla del Monte, we conducted a 16 plot sampling in the region, considering the effect of the oak tree (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) canopy as the main factor explaining the variation of several elements. We generated and analyzed a dataset to describe the area and answer our secondary hypothesis. The statistical results obtained showed that the oak tree canopy has a significantly negative direct influence on the vegetal communities and a positive one on the soil physic-chemical characteristics and edaphic processes, explained

through the variations in soil organic matter content (SOM) and litter weight under the tree. However, the abundance of gamasid mites does not seem to be explained directly by the presence of the tree, but indirectly by that of oribatid mites. On the other hand, we compared the mineralization process carried out by the edaphic microfauna to the added activity of an earthworm typical of the studied region (*Hormogaster elisae*). We found that, although the edaphic macrofauna plays a significant role in increasing the soil respiration, the main factor altering the mineralization process is the soil organic matter content, once again, explained by the tree canopy of *Q. ilex*. Nevertheless, the SOM does not affect the growth rate of this species, due to its adaptation to oligotrophic soils. Thereby, this study shows that the presence of isled trees favors the creation of specific physic-chemical conditions and, in consequence, unique biological communities and processes worthy of conservation efforts.

Key words: grassland, oak tree (*Quercus ilex*), Mediterranean region, agrosilvopastoral System, Boadilla del Monte, tree canopy effect, mineralization, *Hormogaster elisae*.

1. Introducción

Las dehesas son sistemas agrosilvopastorales de gran relevancia debido a su heterogeneidad y diversidad (Naveh & Whittaker, 1980; Pineda et al., 1981; Joffre et al., 1988), consecuencia de la topografía y edafología variables de la zona, el clima irregular y la influencia humana ejercida por el pastoreo a lo largo de los años (Pérez Corona et al., 1996). Sin embargo, más allá de las variaciones propias de la heterogeneidad del muestreo, las condiciones climáticas y las características del sustrato edáfico son muy constantes, lo que permite realizar estudios a nivel de la variación microclimática (Escudero Berian et al., 1983; Gonzalez et al., 1990).

La dehesa de Boadilla del Monte es una región madrileña protegida de gran interés cultural (Novillo et al., 2011) y conocer sus características edáficas y biológicas puede aportar datos que ratifiquen la necesidad de proteger, no solo ésta, sino muchas de las regiones singulares de tipologías similares y ayudar a avanzar en el desarrollo de propuestas sostenibles (Escribano Sánchez et al., 1993; Díaz et al., 2003).

La cobertura arbórea genera en su zona de influencia un microclima caracterizado por unas condiciones físico-químicas muy diferentes a las encontradas en campo abierto (Montalvo et

al., 1980; Escudero Berian et al., 1983; Breshears et al., 1998), siendo su efecto máximo bajo la copa y disminuyendo de forma paulatina a medida que se aleja. En este trabajo, queremos proponer la presencia de cobertura arbórea de las encinas *Quercus ilex* subsp. *ballota* como elemento explicativo de las relaciones que existen entre algunos factores edáficos abióticos con la vegetación, la fauna y la actividad microbiana edáficas en la dehesa de Boadilla del Monte. Para poder analizar correctamente su influencia, realizaremos un muestreo general, a partir del cual podremos extraer datos concluyentes que confirmen o rechacen nuestras hipótesis secundarias, explicadas a continuación.

El interés del calcio en el medio reside en su capacidad para mejorar la estructura del suelo y aumentar su aireación, favoreciendo el crecimiento de las plantas y ofreciendo refugio a numerosos artrópodos del suelo. Aquí, donde los suelos son oligotróficos, el calcio es un elemento íntimamente relacionado con la presencia de encinas, ya que en gran medida proviene del lavado de sus hojas por la lluvia (García Bellido et al., 1983; Escudero Berian, 1992) y de la descomposición de las mismas en el suelo. Esto genera unas características diferentes respecto a la zona sin cobertura que pueden ser comparadas para determinar si la presencia del calcio está únicamente influida por la cobertura arbórea o si otros factores indirectos, concretamente la cantidad de materia orgánica en el suelo, pueden actuar como variable explicativa.

Asimismo, la disponibilidad de carbono orgánico puede afectar a procesos edáficos, como la nitrificación (Stienstra et al., 1994) y la Capacidad de Intercambio Catiónico (González-Bernáldez et al., 1969). La CIC es un importante indicador de la fertilidad del suelo por lo que es un parámetro relevante al realizar estudios de suelos (Fuentes Yagüe, 1999). Considerando que el arbolado aporta una gran cantidad de materia orgánica del suelo, investigaremos la influencia de la cobertura arbórea sobre la CIC a través de esta variable explicativa.

También pretendemos analizar la influencia de la cobertura arbórea sobre algunas características biológicas de la dehesa como las comunidades vegetales y la mesofauna de artrópodos edáficos. Se sabe que la vegetación de herbáceas asociada a los grandes árboles en las dehesas es significativamente diferente a la encontrada fuera de su marco de influencia y (González-Bernáldez et al., 1969; Montoya, 1982; Marañón, 1986; Díez et al., 1994), si bien menos diversa, sus especies son en general distintas y suponen un aumento de la riqueza específica de la zona (Rico & Puerto, 1988). Sobre esta base queremos plantear la hipótesis de que la cobertura arbórea tendrá también en la dehesa de Boadilla del Monte un efecto

importante sobre la abundancia de herbáceas, debido a la creación de un microclima altamente enriquecido por parte de la hojarasca aportada por la encina (Alvarado & Selga, 1961; Puerto, 1997). Especialmente y en referencia al trabajo de Pérez Corona et al. (1996), esperamos encontrar una relación negativa marcada entre la riqueza de especies y la presencia de arbolado.

Por otro lado, la mesofauna de artrópodos y entre ellos, los ácaros, juegan un papel fundamental en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, ya que intervienen en los ciclos de reciclaje de nutrientes (Seastedt, 1984) y a menudo se utilizan como bioindicadores edáficos (Subías et al., 1985; Sabbatini Peverieri et al., 2011). Concretamente los ácaros gamásidos son depredadores de otros organismos edáficos - entre ellos los ácaros oribátidos - y, en consecuencia, cobran gran importancia en el mantenimiento del equilibrio de la fauna edáfica (Ruf & Beck, 2005). Petersen & Luxon (1982) y Hasegawa (2001) demostraron la relación que existe entre la cantidad de materia orgánica y la abundancia de organismos edáficos. Teniendo todo esto en cuenta, planteamos la hipótesis de que la distribución de los ácaros gamásidos depende también de la cobertura arbórea e indirectamente de la distribución de una de sus presas principales, los ácaros oribátidos.

La biota edáfica juega un papel fundamental en los ciclos biogeoquímicos y los procesos a los que son sometidos los nutrientes y, en conjunto, favorecen el reciclado de la materia (Lavelle, 1987). La macrofauna del suelo cobra importancia en los procesos de transformación de O en CO₂, también conocidos como mineralización del carbono y, entre ellos, destaca la acción de las lombrices de tierra que durante su actividad incrementan la tasa producción de C y N del medio en que se encuentran (de Haro Garvin et al., 2000; Domínguez et al., 2009). La lombriz *Hormogaster elisae* es un endemismo del centro de la Península Ibérica abundante en suelos arenosos con poca materia orgánica como el de nuestra región de estudio (Díaz Cosín et al., 2009). Al comparar su actividad con la de los microorganismos edáficos de menos de 2 mm, vaticinamos una diferencia significativa entre la producción de CO₂ de unos y otros. Además, y dado que la mineralización del carbono por parte de las lombrices está soportada por la materia orgánica del suelo (Wachendorf et al., 2014), esperamos observar un efecto positivo de la cobertura arbórea sobre la mineralización. Para ello realizaremos un experimento controlado en el laboratorio, comparando la acción de las lombrices con la de los microorganismos y estimando la influencia del tipo de suelo en el proceso de mineralización y crecimiento de *H. elisae*.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de Estudio

El estudio se ha llevado a cabo en la Dehesa de Boadilla del Monte situada en Madrid, en la localidad de Boadilla del Monte. Se encuentra a unos 690 metros de altitud y sus UTM son 30T VK 266 735, según el mapa del Servicio Geográfico del Ejército (*Mapa militar de España: Villaviciosa de Odón. Mapa general Serie 5V, 1:25000*, 1976). La zona en cuestión está localizada en una superficie llana sobre suelos franco-arenosos de arcasas detríticas pertenecientes al Aragoniense, oligotróficos y ligeramente ácidos, mayormente clasificados como cambisoles, con la presencia de algunos luvisoles y regosoles (Monturiol Rodríguez & Alcalá del Olmo, 1990; Portero García & Pérez González, 1990).

A nivel regional el clima es Mediterráneo con veranos cálidos y secos e inviernos fríos, marcados por abundantes precipitaciones que llegan a ser torrenciales y que se vuelven más escasas y variables en primavera y otoño. Considerando el climograma ombrotérmico realizado a partir de los datos de la estación de *Cuatro Vientos* (altitud: 690 m), estimamos la precipitación media anual es de 478 mm y la temperatura media anual de 16 °C a nivel local. El índice de termicidad es 245, lo que indica un clima mediterráneo templado con ligeras caracterizaciones continentales.

La dehesa estudiada pertenece al piso supramesomediterráneo, a la serie meso-supramediterránea guadarrámico-ibérica silícola de la encina, *Quercus rotundifolia* (*Junipeo oxycedri* – *Quercus rotundifoliae* S.). Se trata de encinares silícolas de ombroclima seco o subhúmedo inferior. Aparecen también asociados *Lonicera etrusca* y *Peonia broteroi* (Rivas Martínez, 1982; San Miguel Ayanz, 1994).

2.2. Diseño experimental y muestreo

Con el objetivo de estudiar la influencia de la cobertura arbórea de la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) sobre una serie de características físico-químicas y biológicas realizamos un muestreo a lo largo de un día durante el mes de abril en 16 zonas, 8 bajo cobertura (C) y 8 fuera de cobertura (S). Cada conjunto de muestreo dentro y fuera de cobertura se consideró como una réplica. El área de muestreo utilizada dentro y fuera de cobertura es la misma y se determinó calculando la superficie media de la zona con cobertura a partir de la medida del radio medio de los árboles, considerando el borde exterior de la proyección de la copa del árbol sobre el suelo. Para evitar la influencia de la variabilidad natural intentamos homogeneizar las muestras en la medida de lo posible, por lo que tomamos las muestras al azar asegurando su independencia y elegimos siempre la orientación norte cuando se muestreaba bajo cobertura. Evitamos muestrear donde hubiera arbustos o grandes piedras y descartamos las zonas de influencia del tronco y borde del árbol, así como el suelo descubierto. Las muestras de cada tratamiento – dentro y fuera de la influencia del árbol – fueron repartidas por la mañana y por la tarde en proporción 1:1.

2.3. Metodología empleada

En el campo

En cada una de las zonas colocamos 4 cuadrados de 0.25x0.25 m, en los cuales determinamos la cobertura vegetal - leguminosas, gramíneas y herbáceas -, briofítica y el suelo descubierto. Guardamos la hojarasca presente en una bolsa calibrada. De cada uno extrajimos una medida de suelo (200 g) subsuperficial para la determinación de parámetros edáficos, así como la actividad microbiana y fertilidad del suelo. Estas submuestras se juntaron en una sola para eliminar la influencia de los efectos de la escala sobre los resultados, consiguiendo así una muestra más representativa de la variabilidad existente en los parámetros analizados. Igualmente, se unieron 4 submuestras de dos volúmenes de suelo subsuperficial tomadas a la derecha de cada cuadrado para determinar la fauna edáfica. En cada parcela extrajimos además una sonda de suelo, siendo el peso y volumen anotados para la posterior determinación de humedad, aireación y porosidad.

Por otro lado, realizamos un experimento en el laboratorio para estudiar el efecto de la cobertura arbórea sobre la mineralización del carbono. Para ello, tomamos un volumen de suelo subsuperficial de aproximadamente 1 kg en cada una de las 16 parcelas.

En el laboratorio

Después de tamizar las muestras del suelo para obtener partículas finas de tierra (tamaño de partícula ≤ 2 mm de diámetro) se realizaron una serie de análisis distintos en cada una de las réplicas. Con el cilindro de tierra de volumen y peso conocido se determinó la estructura del suelo, concretamente de la humedad -estimando la cantidad de agua por medio de un horno secante-, la porosidad, la aireación y la densidad aparente.

Con el resto de tierra determinamos la granulometría por el método Bouyoucos (Bouyoucos, 1951), el pH a través de un pH-metro en H₂O y KCl, así como la cantidad total de carbono orgánico a través de del método de Walkley y Black (Walkley & Black, 1934). Determinamos además el Ca²⁺ por complexometría, que consiste en valoración por EDTA (C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈(H₂O)₂) 0'02N a pH 12. También se calculó el potencial de nitrificación de la microfauna del suelo al cabo de 20 días mediante el kit Spectroquant de Merck para la determinación de nitratos, midiendo la absorbancia a 515 nm en varias diluciones. La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se calculó mediante la saturación del complejo de intercambio catiónico con amonio y posterior valoración mediante el método colorimétrico de Nessler a absorbancia 410 nm.

Las plantas vasculares y briofitos se identificaron a nivel de especie con ayuda de una lupa binocular. El criterio taxonómico utilizado para briófitos es el de la Flora briofítica Ibérica (Guerra & Cross, 2006) y para las plantas vasculares el de Flora Ibérica (Castroviejo, 1986). Los especímenes obtenidos se han guardado en un herbario como pliegos testigo para futuras referencias.

La extracción de la fauna de artrópodos encontrados en el suelo se realizó mediante el método Berlesse-Tullgren, que consiste en la colocación de un embudo con una bombilla en la parte superior y la criba de artrópodos edáficos aprovechando sus características lucífugas y calorífugas, de forma que caen sobre una placa con líquido de Sheerpeltz sobre la que se fijan. Fueron identificados usando una lupa binocular a nivel de orden y, en algunos casos,

suborden. Los individuos se guardaron en botes identificados como futura referencia. Algunos de los ejemplares se acalararon y montaron preparaciones semi-temporales con líquido de Hoyer para un análisis más detallado en el microscopio.

Experimento de mineralización

Para la realización del experimento preparamos 8 réplicas (una por cada punto de muestreo), obteniendo un total de 40 microcosmos. Por cada réplica dispusimos (1) un blanco sin suelo que nos sirvió para determinar el CO₂ atmosférico; (2) dos testigos (uno C y uno S) con suelo tamizado a 2 mm para medir la producción de CO₂ por los microorganismos edáficos; (3) dos problemas (C y S) con suelo tamizado a 2 mm y un ejemplar de *Hormogaster elisae* para determinar la producción de CO₂ total en presencia de una lombriz de tierra característica de la localidad de Boadilla del Monte. En cada uno de los microcosmos problemas (16 en total) introdujimos lombrices de pesos comprendidos entre 1.7 y 3.5 mg. Al finalizar el experimento pesamos de nuevo las lombrices para calcular la variación media del mismo en cada uno de los medios (*Fórmula 1*) y comprobar el efecto de los dos suelos (C y S) sobre el crecimiento de las mismas.

Fórmula 1.: Cálculo de la variación de peso (Δ peso) media de las lombrices *H. elisae* tras 14 días de experimento.

$$\Delta \text{ peso media} = \frac{\sum_{i=1}^8 \left(\frac{\text{peso final}_i - \text{peso inicial}_i}{14} \right)}{8}$$

En cada microcosmo se midió la producción de CO₂ durante 10 días de trabajo a lo largo de 3 semanas. Las mediciones del CO₂ producido se realizaron mediante una valoración de HCl (*Fórmula 2*). Los resultados obtenidos cada día de valoración se volcaron en una tabla general de datos con la que realizamos los análisis estadísticos pertinentes, que nos han servido para contrastar las hipótesis planteadas. Comparando los valores obtenidos en los Testigos y Problemas podremos obtener una aproximación del papel de los microorganismos menores de 2mm y de las lombrices de tierra en la mineralización del carbono tanto dentro como fuera de cobertura.

Fórmula 2.: Cálculo de la mineralización en función de los días transcurridos desde el comienzo del experimento.

$$M \text{ (mg CO}_2 \text{ * g}^{-1} \text{ suelo seco * día}^{-1}) = (2,2 (V_0 - V_1)) / (W * d)$$

V₀: Volumen de HCl usado en la valoración del blanco.

V₁: Volumen de HCl usado en la valoración del testigo y los problemas.

W: Peso de suelo seco: 320g.

d: Número de días desde la colocación de las trampas hasta la valoración.

2,2: Coeficiente que relaciona las concentraciones de sosa y ácido clorhídrico.

2.4. Análisis estadísticos

Para analizar la influencia de la cobertura sobre el parámetro a estudiar realizamos una regresión simple. Después, se aplica la regresión múltiple para discriminar los roles de los distintos parámetros que afectan la variabilidad obtenida, de manera que el modelo quede lo más ajustado posible. Los valores de significación se indican según el estadístico T y el p-valor. Se indica el valor explicativo del modelo como R². En caso de que el modelo no resulte significativo, se incluirá el p-valor de significación global del modelo (prueba F). Si los resultados no siguen una distribución normal se transforman los datos mediante una conversión logarítmica.

Para los parámetros de mineralización utilizamos el método de Kolmogorov-Smirnov para determinar si los datos son normales. Una vez comprobado se realiza una ANOVA para pruebas paramétricas o se sigue el procedimiento Kruskal-Wallis para pruebas no paramétricas. Después se emplean pruebas de múltiples rangos al conjunto de muestras para determinar sus similitudes.

3. Resultados

3.1. Análisis descriptivos

Los resultados obtenidos en los análisis descriptivos de las diferentes variables se resumen en las Tablas 1-4.

Vegetación

Los resultados obtenidos para los análisis de vegetación son variables. En una aproximación inicial a la zona de muestreo, las coberturas medias se recogen en la Tabla 1. Las gramíneas, dominantes en la zona bajo cobertura, pierden importancia en el exterior, al contrario que las leguminosas. Esta última familia presenta una frecuencia mayor en la zona sin cobertura. La riqueza florística sigue un patrón similar, siendo mucho más diversas las muestras más allá de la influencia de la encina.

Bajo cobertura no hay presencia de especies briofíticas, mientras que fuera su presencia se dispara. Sin embargo, podemos ver que esa abundancia no se traduce en riqueza, ya que el promedio de especies encontradas es 2.

| | Recuento | COBERTURA | | | | | SIN COBERTURA | | | | |
|------|----------|-----------|---------------------|--------|--------|--------|---------------|---------------------|--------|--------|-------|
| | | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo | Rango | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo | Rango |
| RFLO | 8 | 6,38 | 1,41 | 4,00 | 8,00 | 4,00 | 13,25 | 3,01 | 9,00 | 18,00 | 9,00 |
| GRA | 8 | 39,25 | 8,00 | 29,00 | 52,00 | 23,00 | 27,13 | 18,12 | 9,00 | 63,00 | 54,00 |
| LEG | 8 | 4,50 | 3,93 | 0,00 | 10,00 | 10,00 | 24,75 | 14,21 | 6,00 | 55,00 | 49,00 |
| MUS | 8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 30,38 | 24,04 | 4,00 | 69,00 | 65,00 |
| RMUS | 8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,38 | 0,74 | 2,00 | 4,00 | 2,00 |
| HERB | 8 | 69,50 | 11,45 | 46,00 | 80,00 | 34,00 | 82,25 | 8,14 | 67,00 | 96,00 | 29,00 |
| SUE | 8 | 35,00 | 10,64 | 24,00 | 54,00 | 30,00 | 6,38 | 6,99 | 0,00 | 19,00 | 19,00 |
| PHOJ | 8 | 47,18 | 44,89 | 10,21 | 128,91 | 118,70 | 3,19 | 1,86 | 0,83 | 6,30 | 5,47 |

Tabla 1. Análisis descriptivo de la vegetación. RFLO: riqueza florística, GRA: cobertura de gramíneas, LEG: cobertura de leguminosas; MUS: cobertura de musgos; RMUS: riqueza de musgos; HERB: cobertura de herbáceas; SUE: cobertura de suelo descubierto; PHOJ: peso de hojarasca.

En un estudio más detallado de las comunidades vegetales (v. Tablas 2a y 2b) podemos ver que son pocas las especies que se desarrollan de forma indiferente dentro o fuera de cobertura. Son principalmente especies de la familia de las compuestas las que pueden crecer en ambas condiciones. La mayor riqueza de especies se da fuera de cobertura (32), donde no hay una

predominancia clara de un grupo, sino que se reparte entre varios (Gramíneas, Leguminosas, Cariofiláceas, Crucíferas y Compuestas) aportando una amplia riqueza de familias y especies.

Bajo cobertura la riqueza es mucho menor (11) y hay una clara dominancia de especies de la familia de las compuestas. Las especies que encontramos aquí tienen en común la necesidad de materia orgánica, siendo muchas de ellas ruderales.

La diversidad de biotipos en el exterior es muy alta, pero la mayoría de las especies que viven fuera de cobertura son terófitos, generando una vegetación asociada de *pastizales terofíticos*. Por otro lado, las distribuciones de la vegetación son variables. Encontramos desde especies de distribución Paleotemplada a especies endémicas en España. Muchas son características de la región Mediterránea.

Los briófitos solo aparecen fuera de cobertura. Los más abundantes son *Pleurochaete squarrosa* y *Syntrichia ruralis*. Pertenecen a la familia de las *Pottiaceae* y son acrocárpico, por lo que no necesitan mucha humedad. Sobreviven a los periodos de sequía mediante el cierre de foliolos para evitar la desecación. *S. muralis* presenta pelos hialinos que le ofrecen protección frente a la radiación. Por otro lado, *Homalothecium aureum* es pleurocárpico y necesita mucha más agua. Lo mismo ocurre con las *Riccia*, que son hepáticas anuales que requieren abundante agua para sobrevivir. Gracias al rocío de la mañana son capaces de sobrevivir en estos ambientes tan adversos.

| Familias | Especies | ΣC | ΣS | ΣT |
|------------|-------------------------------|------------|------------|------------|
| BRY | <i>Bryum caespitium</i> | 0 | 1 | 1 |
| BRA | <i>Homalothecium aureum</i> | 0 | 1 | 1 |
| HEP | <i>Riccia ciliata</i> | 0 | 1 | 1 |
| POT | <i>Pleurochaete squarrosa</i> | 0 | 5 | 5 |
| POT | <i>Syntrichia ruralis</i> | 0 | 6 | 6 |

Tabla 2a. Matriz florística (briófitos). Presencia de las especies bajo cobertura (C), fuera de cobertura (S) y presencias totales (T)

| Familias | Especies | ΣC | ΣS | ΣT |
|------------|--------------------------------|------------|------------|------------|
| CAR | <i>Stellaria media</i> | 6 | 0 | 6 |
| CAR | <i>Cerastium semidecandrum</i> | 0 | 1 | 1 |
| CAR | <i>Petrorhagia prolifera</i> | 0 | 1 | 1 |
| CAR | <i>Scleranthus annuus</i> | 0 | 1 | 1 |
| CAR | <i>Spergularia rubra</i> | 0 | 1 | 1 |
| CAR | <i>Spergula pentandra</i> | 0 | 2 | 2 |
| CAR | <i>Cerastium brachypetalum</i> | 1 | 3 | 4 |
| COM | <i>Carduus pycnocephalus</i> | 1 | 0 | 1 |
| COM | <i>Scorzonera graminifolia</i> | 1 | 0 | 1 |

Tabla 2b. Matriz florística (plantas vasculares). Presencia de las especies bajo cobertura (C), fuera de cobertura (S), total (T) ordenadas en función de la familia.

| Familias | Especies | ΣC | ΣS | ΣT |
|-----------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| COM | <i>Senecio vulgaris</i> | 1 | 0 | 1 |
| COM | <i>Cirsium arvense</i> | 5 | 0 | 5 |
| COM | <i>Calendula arvensis</i> | 0 | 1 | 1 |
| COM | <i>Filago pyramidata</i> | 0 | 1 | 1 |
| COM | <i>Taraxacum obovatum</i> | 1 | 1 | 2 |
| COM | <i>Anacyclus clavatus</i> | 0 | 3 | 3 |
| COM | <i>Leontodon taraxacoides</i> | 0 | 4 | 4 |
| COM | <i>Hypochaeris radicata</i> | 2 | 4 | 6 |
| COM | <i>Taraxacum vulgare</i> | 2 | 5 | 7 |
| CRU | <i>Alyssum alyssoides</i> | 0 | 1 | 1 |
| CRU | <i>Erophila verna</i> | 0 | 1 | 1 |
| CRU | <i>Hornungia petraea</i> | 0 | 1 | 1 |
| CRU | <i>Alyssum alyssoides</i> | 0 | 1 | 1 |
| CRU | <i>Capsella bursa-pastoris</i> | 2 | 1 | 3 |
| CRU | <i>Brassica barrelieri</i> | 0 | 7 | 7 |
| GER | <i>Erodium cicutarium</i> | 0 | 1 | 1 |
| GER | <i>Erodium malacoides</i> | 0 | 1 | 1 |
| GER | <i>Geranium molle</i> | 3 | 1 | 4 |
| GER | <i>Geranium rotundifolium</i> | 2 | 4 | 6 |
| GRA | <i>Hordeum murinum</i> | 4 | 0 | 4 |
| GRA | <i>Mibora minima</i> | 0 | 1 | 1 |
| GRA | <i>Poa bulbosa</i> | 0 | 1 | 1 |
| GRA | <i>Vulpia muralis</i> | 0 | 1 | 1 |
| GRA | <i>Vulpia unilateralis</i> | 0 | 1 | 1 |
| GRA | <i>Avena sterilis</i> | 0 | 2 | 2 |
| GRA | <i>Bromus diandrus</i> | 0 | 2 | 2 |
| GRA | <i>Vulpia myuros</i> | 1 | 2 | 3 |
| LEG | <i>Vicia lathyroides</i> | 1 | 0 | 1 |
| LEG | <i>Lupinus angustifolius</i> | 0 | 1 | 1 |
| LEG | <i>Vicia cracca</i> | 0 | 1 | 1 |
| LEG | <i>Medicago minima</i> | 1 | 1 | 2 |
| LEG | <i>Astragalus pelecinus</i> | 0 | 2 | 2 |
| LEG | <i>Trifolium subterraneum</i> | 0 | 3 | 3 |
| LEG | <i>Trifolium arvense</i> | 0 | 4 | 4 |
| LEG | <i>Trifolium glomeratum</i> | 0 | 4 | 4 |
| LEG | <i>Ornithopus compressus</i> | 1 | 5 | 6 |
| PAP | <i>Papaver rhoeas</i> | 0 | 1 | 1 |
| PLA | <i>Plantago bellardii</i> | 0 | 1 | 1 |
| PLA | <i>Plantago lanceolata</i> | 1 | 2 | 3 |
| POL | <i>Rumex acetosella</i> | 0 | 1 | 1 |
| ROS | <i>Aphanes microcarpa</i> | 0 | 1 | 1 |
| RUB | <i>Gallium aparine</i> | 1 | 0 | 1 |
| UMB | <i>Scandix pecten-veneris</i> | 2 | 0 | 2 |
| UMB | <i>Anthriscus caucalis</i> | 4 | 0 | 4 |
| URT | <i>Urtica urens</i> | 4 | 0 | 4 |
| VIO | <i>Viola kitaibeliana</i> | 1 | 2 | 3 |

Tabla 2b. (Continuación)

Artrópodos edáficos

Los artrópodos (Tabla 3) presentan una gran diversidad que no es acompañada por la abundancia de organismos. Podemos observar que los artrópodos más abundantes tanto dentro

| | Recuento | COBERTURA | | | | | SIN COBERTURA | | | | |
|-------|----------|-----------|---------------------|--------|---------|---------|---------------|---------------------|--------|--------|--------|
| | | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo | Rango | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo | Rango |
| ARA | 8 | 0,13 | 0,35 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,25 | 0,71 | 0,00 | 2,00 | 2,00 |
| PSEU | 8 | 0,25 | 0,46 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| GAM | 8 | 57,63 | 51,70 | 18,00 | 176,00 | 158,00 | 100,75 | 78,57 | 28,00 | 249,00 | 221,00 |
| ACA | 8 | 5,50 | 5,78 | 0,00 | 17,00 | 17,00 | 2,75 | 3,41 | 0,00 | 10,00 | 10,00 |
| ORI | 8 | 49,75 | 70,48 | 3,00 | 216,00 | 213,00 | 115,38 | 138,26 | 3,00 | 427,00 | 424,00 |
| ACT | 8 | 15,00 | 21,44 | 0,00 | 58,00 | 58,00 | 38,38 | 70,07 | 0,00 | 186,00 | 186,00 |
| ISOPO | 8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,35 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| PAU | 8 | 1,13 | 0,83 | 0,00 | 3,00 | 3,00 | 2,88 | 7,74 | 0,00 | 22,00 | 22,00 |
| SIN | 8 | 1,50 | 3,12 | 0,00 | 9,00 | 9,00 | 1,75 | 3,45 | 0,00 | 10,00 | 10,00 |
| QLT | 8 | 0,13 | 0,35 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,13 | 0,35 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| QLG | 8 | 5,63 | 6,52 | 0,00 | 16,00 | 16,00 | 5,13 | 2,90 | 0,00 | 9,00 | 9,00 |
| PROT | 8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,35 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| COA | 8 | 241,13 | 447,56 | 15,00 | 1322,00 | 1307,00 | 120,25 | 124,43 | 1,00 | 282,00 | 281,00 |
| COS | 8 | 2,25 | 4,17 | 0,00 | 12,00 | 12,00 | 1,88 | 2,70 | 0,00 | 8,00 | 8,00 |
| DPL | 8 | 0,88 | 1,13 | 0,00 | 3,00 | 3,00 | 0,25 | 0,46 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| DPJ | 8 | 1,00 | 1,69 | 0,00 | 5,00 | 5,00 | 3,25 | 4,74 | 0,00 | 12,00 | 12,00 |
| PSC | 8 | 0,38 | 0,52 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,13 | 0,35 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| COL | 8 | 0,50 | 0,76 | 0,00 | 2,00 | 2,00 | 0,25 | 0,46 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| LCOL | 8 | 2,25 | 2,38 | 0,00 | 6,00 | 6,00 | 0,88 | 1,46 | 0,00 | 4,00 | 4,00 |
| DIP | 8 | 0,88 | 1,46 | 0,00 | 4,00 | 4,00 | 0,13 | 0,35 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| LDI | 8 | 2,38 | 2,33 | 0,00 | 6,00 | 6,00 | 2,13 | 4,09 | 0,00 | 12,00 | 12,00 |
| TIS | 8 | 1,75 | 1,58 | 0,00 | 4,00 | 4,00 | 0,38 | 0,74 | 0,00 | 2,00 | 2,00 |
| HEMI | 8 | 2,13 | 4,16 | 0,00 | 11,00 | 11,00 | 0,50 | 0,76 | 0,00 | 2,00 | 2,00 |
| HIM | 8 | 9,13 | 21,47 | 0,00 | 62,00 | 62,00 | 0,63 | 1,06 | 0,00 | 3,00 | 3,00 |
| LHIM | 8 | 0,13 | 0,35 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,13 | 0,35 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| LEP | 8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,35 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| NART | 8 | 401,38 | 583,42 | 58,00 | 1800,00 | 1742,00 | 398,50 | 352,11 | 45,00 | 977,00 | 932,00 |
| RART | 8 | 12,63 | 2,33 | 10,00 | 17,00 | 7,00 | 10,13 | 2,17 | 7,00 | 14,00 | 7,00 |

Tabla 3. Análisis descriptivo de las abundancias de artrópodos edáficos. ARA: arañas; PSEU: pseudoscorpiones; GAM: ácaros gamásidos; ACA: ácaros acarídidos; ORI: ácaros oribátidos; ACT: ácaros actinédidos; ISOPO: isópodos; PAU: paurópodos; SIN: sínfilos; QLT: quilópodos litóbidos ; QLG: quilópodos geofílidos; PROT: proturos; COA: colémbolos artropleones; COS: colémbolos sínfipleones; DPL: dipluro campoideo ; DPJ: dipluro japígidos; PSC: ; COL: coleópteros; LCOL: larvas de coleóptero; DIP: dípteros; LDI: larva de díptero ; TIS: tisanóptero; HEMI: hemípteros ; HIM: himenópteros; LHIM: larva de himenóptero; LEP: lepidóptero ; NART: número total de artrópodos; RART: riqueza total de artrópodos. Aparecen resaltados los grupos más abundantes.

como fuera son los ácaros gamásidos, ácaros oribátidos y colémbolos, siendo la presencia de estos últimos dominante en las muestras tomadas bajo cobertura (v. Figure 1). Es esta dominancia la que explica la gran cantidad de riqueza con baja abundancia, ya que son unos pocos grupos los que consiguen adaptarse mejor, en detrimento de los demás. El resto de órdenes, pese a aportar riqueza, no participan en la generación de una repartición equitativa.

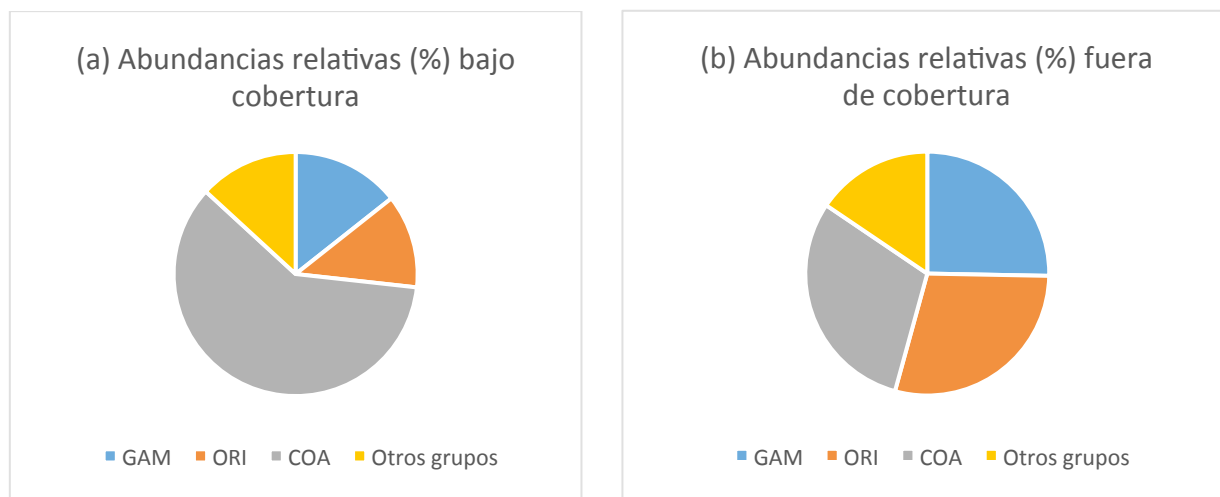


Figure 1. Abundancias relativas en porcentaje de los principales grupos de artrópodos edáficos (A) bajo cobertura y (B) fuera de cobertura. GAM: ácaros gamásidos; ORI: ácaros oribátidos; COA: colémbolos artropleones; Otros grupos de abundancias relativas menores.

Bajo cobertura es llamativa la mayor abundancia de Hemípteros (HEM), Himenópteros (HIM), Tisanuros (TIS), larvas de coleópteros (LCOL) y Sinfilos (SIN), mientras que fuera de cobertura destaca la mayor abundancia de ácaros actinédidos (ACT), Paurópodos (PAU), y Dipluros Japígididos (DPJ). Otros grupos como Arañas (ARA), Isópodos (ISOPO), Quilópodos geofilidos (QLG) o las larvas de dípteros (LDIP) parecen no tener preferencias entre las dos zonas estudiadas.

Suelos

Las condiciones físico-químicas del suelo se muestran en la Tabla 4. Tomando como referencia los valores de Fuentes Yagüe (1999), vemos que tanto dentro como fuera de cobertura encontramos unas características granulométricas similares, que se definen como suelos franco-arenosos. La fracción gruesa del suelo altera las propiedades físicas del mismo generando una gran permeabilidad al agua, que se expresan en los altos valores de porosidad y aireación del suelo, algo mayores bajo cobertura que fuera de cobertura. La densidad aparente, relacionada con estos factores, corresponde a la de suelos arenosos fuera de cobertura y arcillosos con estructura bajo cobertura. En ambos casos la humedad del suelo es similar y el pH es ligeramente ácido con máxima disponibilidad de nutrientes, siendo algo más bajo fuera de cobertura. En función de la textura del suelo los valores de calcio obtenidos bajo cobertura se consideran bajos y muy bajos en el exterior. Teniendo en cuenta el pH y la cantidad de arcillas del suelo, vemos que el contenido de materia orgánica bajo cobertura es normal, mientras que fuera de cobertura es un suelo muy pobre y marcadamente inferior que el de debajo de cobertura. Es posible que este factor determine las diferencias más marcadas que encontramos dentro y fuera de cobertura, ya que los agregados arcillo-húmicos del suelo afectan a la estructura del suelo, mejorando su porosidad y aireación y disminuyendo su densidad aparente.

| | Recuento | COBERTURA | | | | | SIN COBERTURA | | | | |
|------------------|----------|-----------|---------------------|--------|--------|-------|---------------|---------------------|--------|--------|-------|
| | | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo | Rango | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo | Rango |
| ARE | 8 | 83,50 | 3,76 | 77,48 | 87,12 | 9,64 | 83,19 | 6,11 | 69,84 | 88,40 | 18,56 |
| ARC | 8 | 7,98 | 1,44 | 5,60 | 9,60 | 4,00 | 8,79 | 2,31 | 5,60 | 12,16 | 6,56 |
| LIM | 8 | 8,53 | 2,87 | 5,64 | 12,92 | 7,28 | 8,03 | 5,17 | 0,56 | 18,00 | 17,44 |
| HUM | 8 | 11,46 | 3,46 | 6,38 | 15,76 | 9,38 | 10,59 | 1,96 | 7,04 | 13,09 | 6,05 |
| POR | 8 | 56,43 | 5,89 | 48,15 | 66,66 | 18,51 | 42,84 | 5,88 | 37,03 | 54,17 | 17,14 |
| AIR | 8 | 44,97 | 3,85 | 40,56 | 51,66 | 11,10 | 32,25 | 5,37 | 28,20 | 43,71 | 15,51 |
| DENS. AP. | 8 | 1,18 | 0,26 | 0,81 | 1,56 | 0,75 | 1,56 | 0,14 | 1,37 | 1,76 | 0,39 |
| PHH | 8 | 7,43 | 0,37 | 6,87 | 7,91 | 1,04 | 6,46 | 0,39 | 5,80 | 6,90 | 1,10 |
| PHK | 8 | 6,84 | 0,51 | 6,17 | 7,52 | 1,35 | 5,53 | 0,60 | 4,42 | 6,17 | 1,75 |
| CAR | 8 | 3,01 | 0,47 | 2,04 | 3,52 | 1,48 | 0,92 | 0,34 | 0,42 | 1,42 | 1,00 |
| CAL | 8 | 4,11 | 1,52 | 2,01 | 6,94 | 4,93 | 1,54 | 0,57 | 0,97 | 2,78 | 1,81 |

Tabla 4. Análisis descriptivos de los componentes físico-químicos del suelo. ARE: porcentaje de arenas; ARC: porcentaje de arcillas; LIM: porcentaje de limos; HUM: porcentaje de humedad; POR: porcentaje de porosidad; AIR: porcentaje de aireación; DENS.AP.: densidad aparente (kg/m³); PHH: pH medido en H₂O; PHK: pH medido en KCl; CAR: porcentaje de materia orgánica; CAL: cantidad de calcio (meq/100 g suelo).

Rizosfera

El potencial de nitrificación es mucho mayor dentro de cobertura que fuera. Igualmente, los valores de CIC son mayores dentro que fuera de cobertura. Por otro lado, según Fuentes Yagüe (1999) los valores de CIC bajo cobertura son algo más bajos de lo esperado y, fuera de cobertura, mucho más bajos. Las desviaciones estándar son bastante altas.

| | Recuento | COBERTURA | | | | | SIN COBERTURA | | | | |
|------------|----------|-----------|---------------------|--------|--------|--------|---------------|---------------------|--------|--------|--------|
| | | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo | Rango | Promedio | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo | Rango |
| NIT | 8 | 373,82 | 153,54 | 186,56 | 650,75 | 464,19 | 70,00 | 33,08 | 14,95 | 128,82 | 113,87 |
| CIC | 8 | 10,49 | 2,19 | 8,25 | 15,23 | 6,98 | 5,01 | 1,86 | 2,43 | 7,52 | 5,09 |

Tabla 5. *Análisis descriptivo de los procesos edáficos.* NIT: potencial de nitrificación (μg nitrato/ gramo de peso seco); CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol (+) /kg peso seco).

3.2. Contraste de hipótesis

Gracias a los datos tomados podemos realizar una serie de regresiones simples y múltiples, para comprobar la veracidad de nuestras hipótesis. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 6.

| VARIABLE DEPENDIENTE | FACTORES | MODELO FINAL | VARIABLES INDEPEND. EN MODELO FINAL | p VALORES | EXT. INF. INTERVALO CONFIANZA PARÁMETRO | EXT. SUP. INTERVALO CONFIANZA PARÁMETRO | R ² % |
|----------------------|------------|---|-------------------------------------|-----------|---|---|------------------|
| HERB | SOLO COB | HERB = 82,25 - 12,75*COB | COB | 0.0224 | -23,4029 | -2,09713 | 32.00 |
| HERB | COB + PHOJ | HERB = 84,0814 - 0,298202*PHOJ | PHOJ | <0.0001 | -0,372883 | -0,223522 | 86.32 |
| GAM | SOLO COB | | | 0.1598 | | | |
| GAM | COB+ ORI | $\log(\text{GAM}+1) = 2,4273 + 0,470154 \cdot \log(\text{ORI}+1)$ | LOG(ORI+1) | <0.0001 | 0,361316 | 0,578992 | 85.98 |
| CAL | SOLO COB | CAL = 1,5425 + 2,56875*COB | COB | 0.0005 | 1,33725 | 3,80025 | 58.84 |
| CAL | COB + CAR | CAL = 0,389509 + 1,24*CAR | CAR | 0.0001 | 0,752576 | 1,72742 | 68.02 |
| CIC | SOLO COB | CIC = 5,00625 + 5,48375*COB | COB | 0,0001 | 3,3056 | 7,6619 | 67,56 |
| CIC | COB + CAR | CIC = 2,89359 + 2,46972*CAR | CAR | 0.0001 | 1,49806 | 3,44137 | 67,98 |

Tabla 6. *Resumen estadístico de las hipótesis secundarias.* COB: cobertura arbórea; HERB: herbáceas, PHOJ: peso de hojarasca; GAM: ácaros gamásidos; ORI: ácaros oribátidos; CAL: cantidad de calcio en el suelo; CIC: Capacidad de Intercambio catiónico.

Influencia de la cobertura arbórea sobre la abundancia de herbáceas

La “cobertura arbórea” (COB) tiene un efecto negativo significativo sobre la abundancia de herbáceas ($p < 0.05$). Sin embargo, el modelo obtenido usando solo esta variable explica la variación de la abundancia de herbáceas en un 32%. Al considerar la variable “peso de hojarasca” (PHOJ), el valor explicativo del modelo sube a 86.32%. Esto indica que es uno de los principales factores que influyen sobre la abundancia de herbáceas, siendo esta menor cuanto mayor sea el peso de hojarasca.

Influencia de la cobertura arbórea sobre los ácaros gamásidos

Las distribuciones de los ácaros no son normales, por lo que hemos realizado una transformación logarítmica. La “abundancia de ácaros gamásidos” (GAM) no se explica como consecuencia directa de la cobertura arbórea ($T=-1,4848$, $p=0.1598$). Sin embargo, cuando analizamos la variable explicativa “abundancia de oribátidos” (ORI) vemos que existe una clara relación positiva entre ambos factores ($T=9.27$, $p<0.0001$; $R^2=85.95$), por lo que aceptamos el modelo como válido.

Influencia de la cobertura arbórea sobre el contenido de calcio del suelo

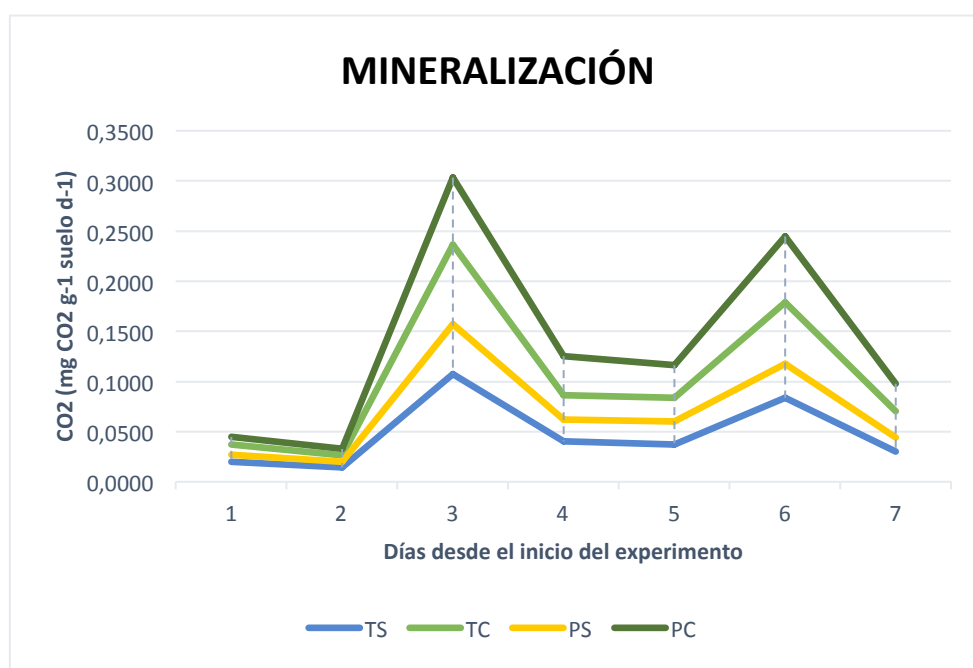
Al realizar una regresión lineal usando la cobertura arbórea como variable independiente vemos que la diferencia del contenido de calcio dentro y fuera de cobertura se explica por esta en un 58.84%. Al introducir “cantidad de materia orgánica” (CAR) como posible variable explicativa vemos que este factor mejora en cierta medida el modelo ($R^2=68.02\%$), ya que ejerce un efecto positivo sobre la cantidad de calcio en el medio. Esto implica que la cobertura arbórea actúa principalmente a través de la materia orgánica sobre la cantidad de calcio del suelo.

Influencia de la cobertura arbórea sobre la CIC del suelo

La presencia de la encina tiene influencia sobre los procesos edáficos, generando una variación significativa de la CIC dentro y fuera de cobertura ($T=5.394$, $p<0.001$; 67.56%). Al realizar una regresión múltiple que incluye el “cantidad de materia orgánica” (CAR) como variable explicativa, vemos que la CIC se explica en un 67.98% por la cantidad de materia orgánica. La cobertura arbórea, por lo tanto, ejerce su efecto sobre la CIC a través de la cantidad de materia orgánica.

3.3.Mineralización

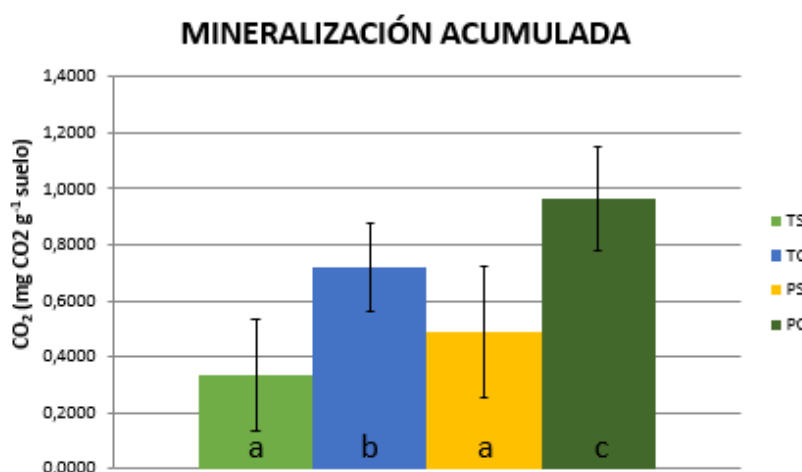
Los valores de mineralización media de cada uno de los microcosmos a lo largo de los días de muestreo se recogen en la gráfica 1. En ella podemos ver que hay dos picos de máxima producción de dióxido de carbono, que coinciden con los días 3 y 6. Por lo general, se ve una tendencia ascendente hasta el día 6, a partir del cual la mineralización tiende a bajar. PC y TC experimentan una mineralización mayor que PS y TS. En estos grupos, las muestras problema



Gráfica 1. Mineralización por días de muestreo. TS: muestra testigo sin cobertura; TC: muestra testigo bajo cobertura; PS: muestra problema sin cobertura; PC: muestra testigo bajo cobertura.

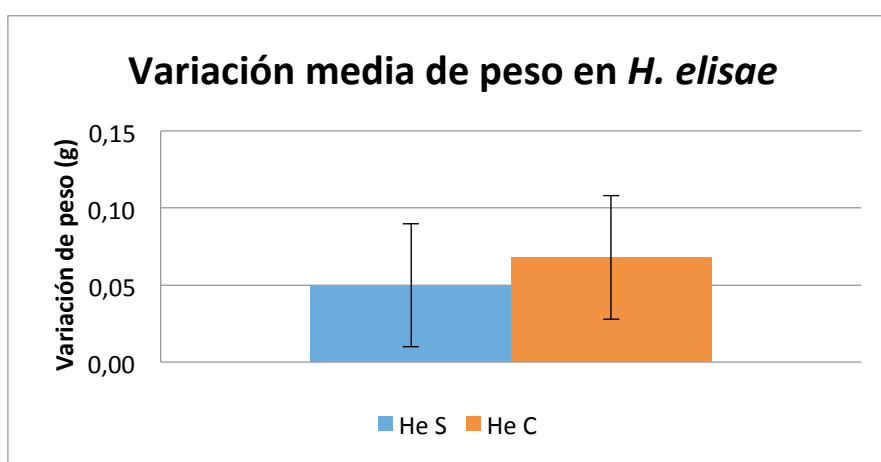
(P) siempre sufren una mineralización mayor que los testigos.

La mineralización acumulada a lo largo del tiempo se recoge en la gráfica 2. La máxima mineralización se da en las muestras problema con cobertura. Al realizar una ANOVA simple vemos que las diferencias entre grupos son significativas ($F=15.74$; $p=0.00$), indicando la prueba de múltiples rangos que no existen diferencias entre las muestras TS y PS.



Gráfica 2. Mineralización acumulada. TS: muestra testigo sin cobertura; TC: muestra testigo con cobertura; PS: muestra problema sin cobertura; PC: muestra problema con cobertura. El resultado de la prueba de múltiples rangos se resume mediante letras de correlación (a, b, c). La desviación estándar aparece indicada por barras de error.

En la Gráfica 3 aparece indicada la variación del peso de las lombrices usadas en los microcosmos problema a lo largo del experimento. La variación del cambio de peso media en dentro y fuera de cobertura no es significativa ($T= -1.0$; $p=0.334$).



Gráfica 3. Variación media del peso de lombrices de la especie Hormogaster elisae. He S: H. elisae fuera de cobertura. He C: H. elisae bajo cobertura.

4. Discusión

4.1. Hipótesis comunes

Efecto de la cobertura arbórea sobre la cobertura de herbáceas

La cobertura de herbáceas está determinada por la cobertura arbórea de forma indirecta a través del peso de hojarasca. Esto tiene sentido si consideramos que la presencia de hojarasca bajo las encinas genera un microclima en el que la lenta descomposición de la materia orgánica aporta una gran cantidad de nutrientes y condiciones de humedad y temperatura, así como una protección primaria frente a la insolación (Alvarado & Selga, 1961) que optimizan el rápido crecimiento de algunas especies con altas exigencias - como son algunas gramíneas anuales – en detrimento de otras especies peor adaptadas a este ambiente. En consecuencia, se da una baja riqueza de familias y especies y, con ello, una menor abundancia y cobertura.

En el exterior, donde no hay tanta hojarasca acumulada ni árbol que enlentezca su descomposición, la heterogeneidad de los sustratos y la adversidad de las condiciones favorecen que solo las plantas con amplio rango de adaptabilidad o aquellas especializadas en suelos oligotróficos puedan sobrevivir, como las leguminosas, que gracias a las relaciones simbióticas con *Rhizobium leguminosarum* no están supeditadas a la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Rico & Puerto, 1988, 1990). Por ello, se pierde la dominancia de las compuestas y otras familias compiten con ella por los escasos recursos. Esto da lugar a una gran variabilidad de familias y especies, que aumenta la riqueza y abundancia de herbáceas en campo abierto y, a su vez, la cobertura.

Efecto de la cobertura arbórea sobre la abundancia de ácaros gamásidos

Al contrario de lo previsto en nuestra hipótesis principal, la cobertura no parece tener una influencia directa sobre la presencia de gamásidos. Esto puede deberse a que las muestras se tomaron en primavera, en un periodo de abundantes lluvias que supone una falta de diferencia de humedad dentro y fuera de cobertura, que se sabe es un requisito fundamental para el desarrollo de poblaciones de artrópodos edáficos (Noti et al., 2003). Sin embargo, sí se ve influido positivamente por la distribución de oribátidos, que están asociados a la presencia de materia orgánica del suelo (Lebrun, 1979; Hasegawa, 2001; Noti et al., 2003). Los ácaros gamásidos son depredadores que se alimentan de organismos más pequeños, como

colémbolos u oribátidos (Alvarado & Selga, 1961; Laakso et al., 1995). Sin embargo, debido a la alta velocidad de movimientos de los colémbolos, estos se convierten en una presa difícil de conseguir, por lo que sus estrategias de alimentación se centran en los oribátidos, más lentos. Además, el muestreo tuvo lugar en abril, que coincide con el momento de reproducción de muchos de los artrópodos, habiendo muchos individuos juveniles presentes. Los juveniles de oribátidos suponen una de las presas favoritas de los gamásidos, debido a que su capa esclerotizada aún no se ha formado completamente, lo que probablemente los convierte en objetivos más fáciles (Travé et al., 1996; Maraun et al., 2016).

Efecto de la cobertura arbórea sobre la cantidad de calcio

La presencia del árbol puede afectar a la composición de nutrientes del suelo ya que actúa como bomba estabilizadora (Puerto et al., 1987). Sus grandes raíces le permiten obtener nutrientes de las capas más profundas e incorporarlos a sus estructuras, principalmente las hojas. Cuando se dan las fuertes precipitaciones, el lavado de las hojas de la encina incorpora algunos de los bioelementos a las aguas que llegan al suelo, entre ellos el calcio, lo que supone un enriquecimiento extraordinario del suelo (García Bellido et al., 1983; Joffre et al., 1988).

En el estudio de González-Bernáldez et al. de (1969) se vio que en suelos silíceos arenosos el principal aporte de bases se daba por la hojarasca de la encina. Las paredes celulares de las hojas presentan tejidos de sostén con altos contenidos de Calcio y su descomposición lenta favorece la liberación de los cationes al medio en formas asimilables minerales. Esto explica la relación existente entre la cantidad de calcio y la materia orgánica del suelo.

Efecto de la cobertura arbórea sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La Capacidad de Intercambio Catiónico depende de la formación de complejos arcillo-húmicos que enriquecen y aportan compacidad a los suelos (Fuentes Yagüe, 1999). Donahue et al. (1981) indicaron además que la CIC está determinada por la cantidad de humus presente en el suelo, siendo su aportación hasta un 50% mayor que la de las arcillas. Considerando que nuestro estudio se ha llevado a cabo sobre suelos franco-arenosos con contenidos de arcillas relativamente bajos y constantes dentro y fuera de cobertura, la variación de materia orgánica (CAR) se presenta como el factor determinante del proceso de intercambio catiónico. El

mayor aporte de hojarasca por parte de la encina y la generación de un microclima de descomposición lenta de la materia orgánica, genera una cantidad de humus mayor bajo cobertura, lo que favorece la fertilidad del suelo por formación de complejos de intercambio y, en consecuencia, la CIC (Alvarado & Selga, 1961). Teniendo en cuenta que las prácticas llevadas a cabo en las dehesas pueden alterar el contenido de materia orgánica del suelo (Guimarães et al., 2013; Seddaiu et al., 2013), es importante destacar que el desarrollo de actividades en la región puede afectar a procesos como la CIC, un claro indicador de la fertilidad del suelo, llegando a afectar negativamente a la integridad edáfica y del ecosistema.

4.2. Mineralización

El proceso de mineralización depende principalmente del tipo de suelo, como queda reflejado en las Gráficas 1 y 2. Los suelos con cobertura presentan una cantidad mayor de materia orgánica, que es el sustrato en base al cual tiene lugar la mineralización (Cookson et al., 2005; Díaz Cosín et al., 2009). Por ello, independientemente de la presencia o no de lombrices, los suelos con cobertura (PC y TC) soportan una tasa de mineralización del carbono más alta que los suelos sin cobertura (PS y TS).

Coincidiendo con los resultados de Domínguez et al. (2009), al comparar los microcosmos de un mismo tipo de suelo, vemos que los problema (PC y PS) alcanzan valores más altos que sus respectivos testigos (TC y TS). Esto corrobora a su vez nuestra hipótesis de que la lombriz tiene una influencia importante en la aceleración de la respiración. La mayor cantidad de materia orgánica en PC favorece la actividad de la lombriz de tierra y, con ello, el proceso de mineralización que lleva a cabo (de Haro Garvin et al., 2000), superando las tasas de mineralización de PS. Por lo tanto, aunque el papel de los microorganismos menores de 2 mm es importante en los procesos de mineralización, está claro que macrofauna edáfica acelera estos procesos. No hay que olvidar la relevancia de la acción conjunta de ambos grupos a la hora de mantener la estructura y complejidad del suelo. El aporte de mucus y heces por parte de las lombrices favorece el aumento de la actividad de los microorganismos edáficos, generando un efecto sinérgico cuyo resultado es mayor que la suma de los efectos separados (Setälä et al., 1991; Domínguez et al., 2009). Esto explicaría los altos valores obtenidos para PC, donde la actividad inicial de los microorganismos edáficos mediada en los testigos bajo cobertura (TC) era mucho mayor que en los testigos fuera de cobertura (TS).

La falta de significación en la diferencia de variación de peso medio de las lombrices dentro y fuera de cobertura se explica en la alta especialización de *Hormogaster elisae*. Estas

lombrices son especialistas capaces de sobrevivir en ambientes poco favorables (Díaz Cosín et al., 2009), por lo que pueden desarrollarse prácticamente igual de bien en cualquiera de los dos medios.

5. Conclusiones

La cobertura arbórea de *Quercus ilex* subsp. *ballota* ejerce su efecto sobre diferentes parámetros físico-químicos y biológicos del suelo. En las dehesas mediterráneas, el clima irregular genera unas condiciones extremas en campo abierto, donde solo los árboles pueden alcanzar las capas del suelo más profundas para encontrar los recursos que les niega la meteorología. Al hacerlo, se convierten en grandes bombas que estabilizan los nutrientes - como el calcio aquí estudiado - y los ponen a disposición de las capas superiores del suelo a través de la producción de hojarasca, cosa que no ocurre en las zonas que escapan de la influencia de la encina. La proyección de sombra constante por la cobertura arbórea da lugar a un microclima que favorece la lenta descomposición de la hojarasca y la acumulación de materia orgánica del suelo en forma de humus. En suelos oligotróficos como el de la Dehesa de Boadilla del Monte, la presencia de humus bajo la cobertura arbórea da lugar a la formación de complejos de intercambio catiónico, que incrementan notablemente la fertilidad de unos suelos por lo demás pobres. De esta manera, se generan nichos altamente enriquecidos que convierten a las encinas en oasis que aportan diversidad al ecosistema, tanto en función de la vegetación como de la fauna edáfica.

El efecto de la cobertura arbórea sobre la cobertura de herbáceas es negativo y se explica a través del peso de hojarasca. Sin embargo, las especies encontradas bajo cobertura son marcadamente diferentes a las que se dan en campo abierto, de manera que aportan gran riqueza al ecosistema. Además, aparecen numerosos ejemplares de distribución mediterránea e incluso algunos endemismos, lo que realza la necesidad de proteger esta región.

Pese a que los ácaros gamásidos no están directamente relacionados con la cobertura arbórea sí lo están indirectamente a través de la presencia de ácaros oribátidos, de los que son depredadores. No obstante, y debido a que las condiciones de humedad favorecen el desarrollo de especies de artrópodos, es posible que en estudios realizados durante otras épocas del año encontremos una relación más directa con la presencia de la encina. Queda clara la necesidad de realizar estudios en un periodo de tiempo más grande para obtener una

base de datos mayor sobre la que trabajar y captar los cambios producidos durante las distintas estaciones.

Por lo tanto, la gran variabilidad que encontramos en las dehesas se explica en gran medida por la presencia de la cobertura arbórea. En un mundo donde las prácticas tradicionales pierden importancia cada día, merece la pena destacar el valor de los sistemas mixtos como las dehesas en la producción de biodiversidad a nivel de ecosistema y ratificar lo necesario de su conservación.

6. Agradecimientos.

Agradezco la ayuda y el compromiso de los profesores de la asignatura, y especialmente agradezco a la Doctora Mónica Gutiérrez López su dedicación y su optimismo.

7. Referencias

- Alvarado, R., & Selga, D., 1961. , La fauna del suelo y su interés agronómico y forestal. *Rev. Univ. Madrid.*, 10: 451–500.
- Bouyoucos, G. J., 1951. , A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43(9): 434–438.
- Breshears, D. D., Nyhan, J. W., Heil, O. C. E., Wilcox, B. P., & Brazil, S. P., 1998. , Effects of woody plants on microclimate in a semiarid woodland: soil temperature & evaporation in canopy & intercanopy patches. *Int. J. Plant Sci.*, 159(6): 1010–1017.
- Castroviejo, S., 1986. , *Flora iberica*. Madrid: Real Jardín Botánico, CSIC.
- Cookson, W. R., Abaye, D. A., Marschner, P., Murphy, D. V., Stockdale, E. A., & Goulding, K. W. T., 2005. , The contribution of soil organic matter fractions to carbon & nitrogen mineralization & microbial community size & structure. *Soil Biology & Biochemistry*, 37(9): 1726–1737. doi: 10.1016/j.soilbio.2005.02.007
- Díaz Cosín, D. J., Hernández, P., Trigo, D., Fernández, R., & Novo, M., 2009. , Algunos aspectos del ciclo biológico del endemismo ibérico, *Hormogaster elisae* Álvarez, 1977 (Oligochaeta, Hormogastridae), en cultivos de laboratorio. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección biológica*, 103(1-4): 49–56. Retrieved from [http://www.ucm.es/info/zoo/invertebrados/PDF/Ciclo_hormogaster_\(2009\).pdf](http://www.ucm.es/info/zoo/invertebrados/PDF/Ciclo_hormogaster_(2009).pdf)
- Díaz, M., Pulido, F. J., & Marañón, T., 2003. , Diversidad biológica y sostenibilidad ecológica y económica de los sistemas adehesados. *Ecosistemas*, 3: 1–10.
- Díez, C., Luis-Calabuig, E., & Tárrega, R., 1994. , Análisis comparativo de la diversidad del estrato herbáceo en función de la distancia al árbol en dehesas de Roble. *Studia Oecologica*, 10-11: 155–161.
- Domínguez, J., Aira, M., & Gómez-Brandón, M., 2009. , El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas*, 18(2): 20–31.

- Donahue, R. L., Miller, R. W., & Shickluna, J. C., 1981. , Propiedades químicas y coloidales. *Introducción a los Suelos y al Crecimiento de las Plantas*, (pp. 101–122). Colombia: Editorial Prentice / Hall International.
- Escribano Sánchez, M., Vargas Giraldo, J., & Calvo Calvo, J., 1993. , Estudio comparativo del pastizal en dos dehesas. Efectos del arbolado sobre fenología y ecología. *A.Y.M.A.*, 33(3): 89–92.
- Escudero Berian, A., 1992. , Intervención del arbolado de la dehesa en los ciclos de los nutrientes. *El libro de las dehesas salmantinas.*, 241–257.
- Escudero Berian, A., Montalvo Hernández, M., García Criado, B., & Gómez Gutiérrez, J., 1983. , Estudio comparativo de la movilidad de bioelementos por los subsistemas arbóreo y herbáceo del ecosistema de Dehesa. *Pastos*, 13(1-2): 9–20.
- Fuentes Yagüe, J. L., 1999. , *El suelo y los fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Madrid. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- García Bellido, I., García Criado, B., & Escudero Berian, A., 1983. , Aporte de bioelementos al suelo por la precipitación atmosférica y el lavado de *Quercus rotundifolia* Lam. y *Quercus pyrenaica* Willd. *Anu Cent Edafol. Biol. Apl. Salamanca*, 9: 165–185.
- González-Bernáldez, F., Morey, M., & Velasco, F., 1969. , Influences of *Quercus ilex rotundifolia* on the herb layer at the El Pardo forest (Madrid). *Boletín Sociedad Española Historia Natural (Biología)*, 67: 265–284.
- Gonzalez, M. I., Quilchano, A., & Egido, J. A., 1990. , *Estudio comparativo de dos climosecuencias de suelos desarrollados sobre granitos y pizarras, en la Sierra de Gata, Salamanca, España*.
- Guerra, J., & Cross, R. M., 2006. , *Flora briofítica ibérica. Volumen III: Pottiales-Encalyptales*, (Universida.). Murcia.
- Guimarães, D. V., Gonzaga, M. I. S., da Silva, T. O., da Silva, T. L., da Silva Dias, N., & Matias, M. I. S., 2013. , Soil organic matter pools & carbon fractions in soil under different land uses. *Soil & Tillage Research*, 126: 177–182. doi: 10.1016/j.still.2012.07.010
- de Haro Garvin, M., Trigo, D., Belinchón, C., Martínez, F., & Díaz Cosín, D. J., 2000. , Efecto de *Hormogaster elisae* (Oligochaeta, Hormogastridae) en la mineralización del C y N del suelo del laboratorio. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección biológica*, 96(1-2): 49–55.
- Hasegawa, M., 2001. , The relationship between organic matter composition of a forest floor & the structure of a soil arthropod community. *Eur. J. Soil Biol.*, 37: 281–284.
- Joffre, R., Vacher, J., de los Llanos, C., & Long, G., 1988. , The dehesa : an agrosilvopastoral system of the Mediterranean region with special reference to the Sierra Morena area of Spain. *Agroforestry Systems*, 6(26): 71–96.

- Laakso, J., Salminen, J., & Setälä, H., 1995. , Effects of abiotic conditions & microarthropod predation on the structure & function of soil animal communities. *Acta Zoologica Fennica*, 162–167.
- Lavelle, P., 1987. , Biological Processes & Productivity of Soils in the Humid Tropics. *The geophysiology of Amazonia. Vegetación & climate interactions*, (pp. 175–223).
- Lebrun, P., 1979. , Soil mite community diversity. *Recent Advances in Acarology*, (pp. 603–613). New York: Academic Press. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Mapa militar de España: Villaviciosa de Odón. Mapa general Serie 5V, 1:25000.*, 1976. . Servicio Geográfico del Ejército.
- Marañón, M., 1986. , Plant species richness & canopy effect in the savanna-like “dehesa” of S.W. Spain. *Ecología Mediterránea*, 12: 131–141.
- Maraun, M., Scheu, S., & Zoologie, I., 2016. , The Structure of Oribatid Mite Communities (Acari , Oribatida): Patterns , Mechanisms & Implications for Future Research. *Nordic Society Oikos*, 23(3): 374–383. Retrieved from <http://www.jstor.or>
- Montalvo, M., García Criado, B., Calabuig, L., & Gómez Gutiérrez, J., 1980. , Influencia del arbolado sobre la composición química de la hierba. *Anal. Edaf. Agrobiología XXXIX*, 1287–1306.
- Montoya, J., 1982. , Efecto del arbolado de las dehesas sobre los factores ecológicos que actúan al nivel del sotobosque. *An. INIA/Serv. Forestal*, 5: 61–85.
- Monturiol Rodríguez, F., & Alcalá del Olmo, L., 1990. , *Mapa de asociaciones de suelos de la Comunidad de Madrid 1:200000*. Instituto de Edafología y Biología Vegetal del CSIC.
- Naveh, Z., & Whittaker, R. H., 1980. , Structural & floristic diversity of shrublands & woodlands in Northern Israel & other Mediterranean areas. *Vegetatio*, 41(3): 171–190. doi: 10.1007/BF00052445
- Noti, M.-I., André, H. M., Ducarme, X., & Lebrun, P., 2003. , Diversity of soil oribatid mites (Acari: Oribatida) from High Katanga (Democratic Republic of Congo): A multiscale & multifactor approach. *Biodiversity & Conservation*, 12: 767–785. doi: 10.1023/A:1022474510390
- Novillo, M. Á., Vega Revenga, E., & Mingot Martín, D., 2011. , Los árboles singulares de la Comunidad de Madrid. *Foresta*, 52: 384–393.
- Pérez Corona, M., Vázquez de Aldana, B., García Ciudad, A., & García Criado, B., 1996. , Variación de la riqueza específica y producción aérea de biomasa en pastizales semiáridos. *Actas XXXVI R.C. SEEP.*, 149–152.
- Petersen, H., & Luxton, M., 1982. , Nordic Society Oikos A Comparative Analysis of Soil Fauna Populations & Their Role in Decomposition. *Oikos*, 39: 287–388.
- Pineda, F. D., Nicolás, J. P., Ruiz, M., Peco, B., & Bernáldez, F. G., 1981. , Sucesión, diversité et amplitude de niche dans les pâturages du centre de la Péninsule Ibérique. *Vegetatio*, 47: 1–14. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Portero García, J. , & Pérez González, A., 1990. , Mapa Geológico de España: Majadahonda 1:50000. Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- Puerto, A., 1997. , La dehesa. *Investigación y Ciencia*, 253: 66–73.

- Puerto, A., García Rodríguez, J., & García Rodríguez, A., 1987. , El sistema de ladera como elemento esclarecedor de algunos efectos del arbolado sobre el pasto. *Anu. CEBA. Salamanca*, 12: 297–312.
- Rico, M., & Puerto, A., 1988. , Estructura básica generada por el arbolado en pastos semiáridos (ecosistemas de dehesa). *Pastos*, 19: 13–28. Retrieved from <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1164>
- Rico, M., & Puerto, A., 1990. , Organización espacial de leguminosas respecto al arbolado (sistemas adehesados). *Actas II Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes*, (b): 63–70.
- Rivas Martínez, S., 1982. , *Memoria del mapa de los de las series de vegetación de la provincia de Madrid*. Diputación de Madrid.
- Ruf, A., & Beck, L., 2005. , The use of predatory soil mites in ecological soil classification & assessment concepts, with perspectives for oribatid mites. *Ecotoxicology & Environmental Safety*, 62(2 SPEC. ISS.): 290–299. doi: 10.1016/j.ecoenv.2005.03.029
- Sabbatini Peverieri, G., Romano, M., Pennacchio, F., Nannelli, R., & Roversi, P. F., 2011. , Gamasid soil mites (Arachnida Acari) as indicators of the conservation status of forests. *Redia*, 94: 53–58.
- San Miguel Ayanz, A., 1994. , *La dehesa española. Origen, tipología, características y gestión*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- Seastedt, T., 1984. , The Role of Microarthropods in Decomposition & Mineralization Processes. *Annual Review of Entomology*, 29(1): 25–46. doi: 10.1146/annurev.ento.29.1.25
- Seddaiu, G., Porcu, G., Ledda, L., Roggero, P. P., Agnelli, A., & Corti, G., 2013. , Soil organic matter content & composition as influenced by soil management in a semi-arid Mediterranean agro-silvo-pastoral system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 167: 1–11. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.agee.2013.01.002
- Setälä, H., Tyynismaa, M., Martikainen, E., & Huhta, V., 1991. , Mineralization of C, N & P in relation to decomposer community structure in coniferous forest soil. *Pedobiologia*, 35: 285–296.
- Stienstra, A. W., Klein Gunnewiek, P., & Laanbroek, H. J., 1994. , Repression of nitrification in soils under a climax grassland vegetation. *FEMS Microbiology Ecology*, 14: 45–52.
- Subias, L., Ruiz, E., & Minguez, E., 1985. , Aportación al conocimiento de las comunidades de Oribátidos (Acari) del erial mediterráneo. *Bolm. Soc. port. Ent.*, 1: 389–398.
- Travé, J., André, H. M., & Bernini, F., 1996. , Les acariens Oribates. *Éditions AGAR & SIALF*.
- Wachendorf, C., Potthoff, M., Ludwig, B., & Joergensen, R. G., 2014. , Effects of addition of maize litter & earthworms on C mineralization & aggregate formation in single & mixed soils differing in soil organic carbon & clay content. *Pedobiologia*, 57(3): 161–169. Elsevier GmbH. doi: 10.1016/j.pedobi.2014.03.001
- Walkley, A., & Black, I. A., 1934. , An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, & a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37 (1): 29–38.